

## **ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛІЗУ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННИХ ОБ'ЄКТІВ**

**Т.В. КОЗУЛЯ, Д.І. ЄМЕЛЬЯНОВА**

Запропоновано комплексний підхід до оцінювання стану природно-техногенних об'єктів з позицій сталого розвитку на різних рівнях дослідження природно-техногенних об'єктів. Виконано комплексну оцінку екологічності на основі MIPS-аналізу і ризик-оцінки стану економічної, екологічної та соціальної складових об'єктів з метою підвищення якості прийняття рішень щодо зниження ступеня небезпеки у стані природно-техногенних систем. Подано алгоритмічне забезпечення для реалізації комплексної методики оцінювання відповідності вимогам екологічної якості за еколого-соціально-економічними аспектами досліджених систем.

### **ВСТУП**

Аналіз існуючої системи показників комплексної екологічної оцінки природно-техногенних комплексів (ПТК) виявив такі проблемні питання зі встановлення узагальнювальної характеристики об'єкта для прийняття зваженого обґрунтованого рішення щодо врегулювання екологічної ситуації: відсутність єдиної узгодженої сукупності індикаторів, здатних відображати як стан системи, так і рівень прояву процесів у ній, що стабілізують чи підтримують дестабілізаційний зовнішній вплив; неможливість відстеження характеру змін зв'язків між об'єктом і навколишнім природним середовищем (НПС) на різних рівнях дослідження ПТК; неузгодженість одиниць вимірювання характеристик стану систем за еколого-соціально-економічними аспектами сталого розвитку (відповідно до завдань сталого розвитку об'єкт дослідження розглядається як соціально-еколого-економічна система).

З огляду на напрям подальшого розвитку методичного забезпечення комплексної оцінки стану ПТК доречним є звернення до формування системи методик для системного дослідження сукупності економічної, екологічної і соціальної складових в їх узгодженості відповідно до реального розвитку об'єкта; аналізу системи показників «соціально-економічна діяльність – природне середовище», «техногенний об'єкт – НПС – людина» у розрізі досліджень «стан – процес» щодо ідентифікації факторів дестабілізації [1].

### **ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ**

**Мета роботи** — розвиток теорії і методів комплексного аналізу рівня небезпеки складних природно-територіальних систем на основі взаємоузгодження характеристик процесів і явищ у них на підставі MIPS-аналізу і ризик-оцінки.

Для розв'язання основного завдання дослідження поставлено такі питання:

- 1) сформувати систему показників оцінювання стану ПТК відповідно до еколого-соціально-економічних аспектів сталого розвитку з урахуванням специфіки дослідження поведінки системних об'єктів вигляду «стан – процес»;
- 2) установити складові екологічної оцінки для системи «вплив – навантаження – стан – реакція» з визначенням інформаційного забезпечення для комплексної характеристики об'єктів НПС на різних рівнях їх дослідження;
- 3) подати алгоритмічне забезпечення системи комплексного оцінювання стану ПТК і процесів у них з урахуванням прояву глобального, макро- і мікрорівня екологічної безпеки в об'єктах НПС.

## МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Формування методичного оцінювання екологічності об'єктів НПС розглядалося з позицій універсалізації дослідження на глобальному, макро- і мікрорівнях з урахуванням прояву соціально-еколого-економічних аспектів систем відповідно до синергетики процесів самоорганізації. Стан ПТК у комплексному сенсі оцінюється послідовною реалізацією трьох рівнів дослідження системного об'єкта [2]:

- 1) глобального — оцінювання загального стану виробничих систем через визначення природно-ресурсного потенціалу техногенно-навантажених територій за *MIPS*-аналізом;
- 2) макрорівня — загальна характеристика екологічності природних і техногенних систем відповідно до результатів *MIPS*-аналізу і ризик-оцінки;
- 3) мікрорівня — установлення конкретних факторів і процесів порушень стаціонарності систем дослідження відповідно до ризик-аналізу відхилень за функцією відповідності вимогам екологічної безпеки (рис. 1).

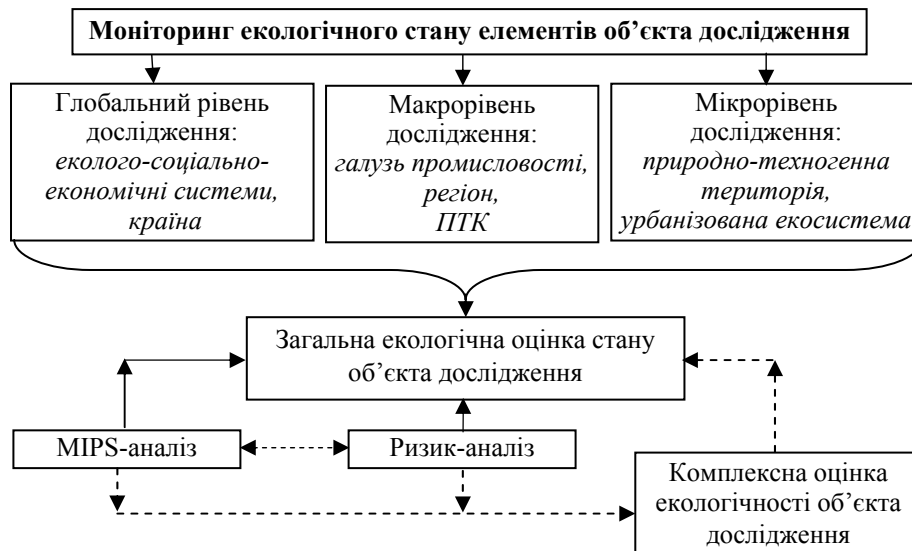


Рис. 1. Структурна схема багаторівневого аналізу: —> — інформаційно-керувальні зв'язки в систем-системному об'єкті; ----> — інформаційна узгодженість

На відміну від багатьох підходів до аналізу природно-техногенних систем, які передбачають визначення стану локальних складових і подання узагальненого результату, пропонується за поданою схемою аналізу системних об'єктів (рис. 1) перехід від глобального до мікрорівня дослідження системних об'єктів. Узагальнена оцінка за *MIPS*-аналізом дозволяє сконцентрувати увагу на вивченні системи з метою встановлення відповідності функціональності техногенного об'єкта вимогам природної стаціонарності природно-територіальних комплексів, визначенні факторів дестабілізації техногенного і природного характеру для отримання висновку про можливості загалом існування такої системи та заміни її на аналогічну більш екологічно досконалу.

На макро- і мікрорівнях дослідження (використання методів *MIPS*- і ризик-аналізу) визначаються елементи і фактори змін у системному об'єкті з метою встановлення процесів порушення стаціонарності системи і процесів її стабілізації. Системний аналіз виявлення дестабілізаційних станів в об'єкті дослідження дозволяє першочергово ідентифікувати фактори порушень, які треба нейтралізувати, і фактори стабілізації, які треба активізувати (рис. 2).

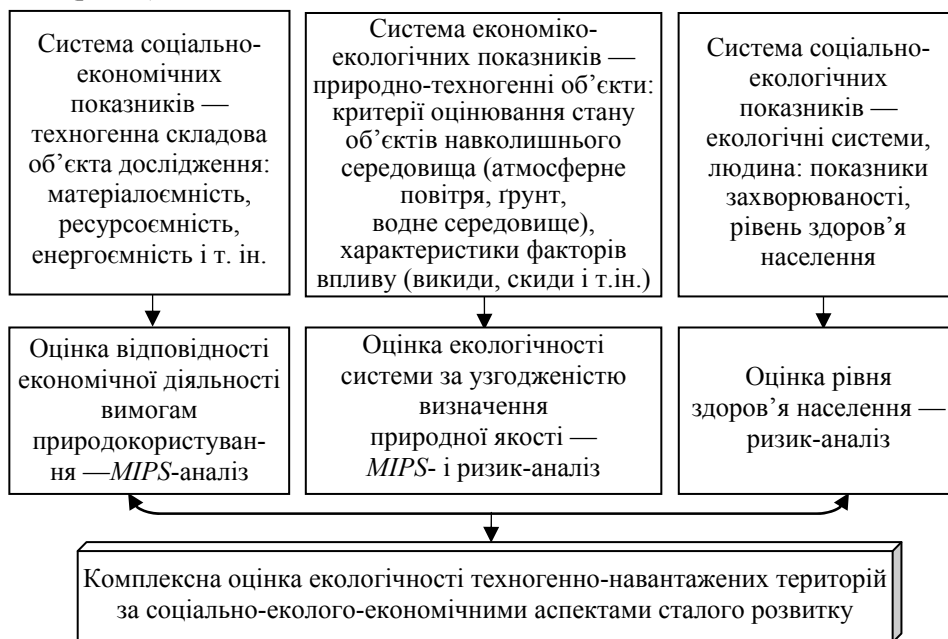


Рис. 2. Загальні показники комплексної оцінки стану ПТК

На глобальному рівні дослідження передбачено визначення відповідності наявності ресурсів в екологічній системі з урахуванням обсягів вилучення, стійкості та наслідків змін її природного стану від техногенного навантаження територій у вигляді ентропійного зсуву  $\Delta S$ :

$$MI_s = \Delta S / Q \text{ або } MI_s = \Delta S / \Delta Q. \quad (1)$$

Коефіцієнт екологічності об'єкта ( $\varepsilon_n$ ) визначається як відношення «умов збереження природного середовища» від виробництва продукції

(чистий корисний ефект  $(Q - P_v)$ ) до кількості витрачених природних ресурсів ( $R_{\pi}$ ) з урахуванням ресурсозабезпечення:

$$\varepsilon_{\pi} = \frac{Q - P_v}{R_{\pi}} = \frac{1 - L}{R_{\pi p}} = \frac{1 - MI_s}{R_{\pi p}}, \quad (2)$$

де  $R_{\pi p}$  — питоме споживання даного виду природного ресурсу на одиницю готової продукції;  $L$  — величина шкідливих впливів на НПС у розрахунку на одиницю корисної продукції чи послуги (показник екологічності процесу).

Таким чином, екологічна відповідність виробленої продукції з вираховуванням збитку від впливу на НПС перевищує екологічну відповідність виготовленої продукції, якщо коефіцієнт  $\varepsilon_{\pi} > 1$ . Об'єкти, для яких умова не виконується, тобто  $\varepsilon_{\pi} < 1$ , є екологічно неефективними, оскільки чиста віддача від використання природних ресурсів не зіставна з їх цінністю.

Якість і безпечність ПТК за MIPS-аналізом на макрорівні визначаються на основі  $MI$ -чисел і показників кількості продукції.  $MI$ -числа є характеристиками загальної кількості природної сировини (у кілограмах або тоннах), яка необхідна для виробництва або утилізації 1 кг (т) основного продукту:

$$MIPS_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n MI_i C_i x_j}{S_j} = \frac{MI_{\text{заг}}}{S_j}, \quad (3)$$

де  $MI_i$  — матеріальна інтенсивність  $i$ -ї забруднювальної речовини для компонента НПС (установлена константа);  $C_i$  — концентрація  $i$ -ї забруднювальної речовини в  $j$ -й системі в кількості  $x_j$ , яка має продуктивність  $S_j$  — кількість виготовленої продукції тощо [3].

Узагальнена MIPS-оцінка визначає негативні фактори впливу на ПТК за трьома складовими: екологічною (ресурси), економічною (технологія), соціальною (вплив на людину).

Методика оцінювання екологічного ризику на макрорівні (державному рівні) передбачає ідентифікацію регіонів (областей) України високого рівня небезпеки на підставі аналізу стану компонентів довкілля, установлення пріоритетності проблем порушення природної якості навколишнього середовища з метою ефективного усунення ризикових факторів впливу на об'єкти НПС, науково-практичне обґрунтування заходів збереження та підтримання природної функціональності компонентів і систем природного середовища [4].

Екологічний ризик ( $P$ ) на макрорівні як імовірність порушення стійкості об'єктів довкілля залежить від існуючого стану екосистеми ( $K_i$ ) і впливу сучасного або потенційного антропогенного навантаження ( $H_i$ ) на територіальні комплекси визначається узагальненою функцією  $P = f_i(K_i, H_i)$ .

Імовірність порушення екологічної стійкості та розвитку деградаційних процесів  $i$ -ї складової ПТК за наявності негативних факторів розраховується за формулою [5]

$$P = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - P_i), \quad (4)$$

де  $P_i$  — імовірність порушення стійкості екосистем,  $i$ -ї складової ПТК.

Екологічний ризик  $Risk$  для розглянутого стану  $i$ -го компонента НПС оцінюється за ймовірнісною характеристикою невідповідності:

$$Risk_i = -P_i \ln(P_i). \quad (5)$$

Застосування принципів управління безпекою передбачає раціональний розподіл ресурсних витрат на зниження різних видів ризику із забезпеченням досягнення такого рівня якості природного середовища, який гарантований у даному суспільстві розвитком економічних, соціальних стандартів і техніко-технологічних можливостей.

Для врахування випадкового, стохастичного, імовірнісного характеру переходу систем, який на макрорівні за умови прояву негативної реакції процесів може бути прихований середніми значеннями загальних показників, проводиться аналіз екологічного стану об'єктів на мікрорівні.

На мікрорівні (локальному) за методикою оцінювання екологічного ризику передбачається аналіз технологічних та економічних аспектів роботи підприємства з реалізації заходів, спрямованих на мінімізацію небезпеки з урахуванням імовірності реалізації дії ідентифікованих негативних факторів. Для встановлених умов мінімального прийняттого ризику приймається рішення щодо регулювання ситуації з метою повернення природної стабільності систем і об'єктів навколишнього середовища в межах екологічного управління.

Прямі збитки від техногенного явища визначаються як ризик-оцінка вигляду  $Risk = M(x)$ , де  $M(x)$  — математичне сподівання негативного явища [5].

Загальна модель обчислення екологічного ризику на мікрорівні встановлює невідповідність аналізованого компонента чи системи вжитим заходам (стандартам, обмеженням) і має вигляд ступеня невпорядкованості (ентропії):

$$Risk = - \frac{C_i}{ГДК_i} \ln \left( \frac{C_i}{ГДК_i} \right), \quad (6)$$

де  $C_i$  — концентрація  $i$ -ї забруднювальної речовини;  $ГДК_i$  — граничнодопустима концентрація  $i$ -ї забруднювальної речовини. Значення ГДК як стандартно прийняті обмеження небезпеки отримують з бази даних IRIS (Integrated Risk Information System), яка створена міжнародним агентством з охорони навколишнього середовища (EPA) [6].

Для оцінювання безпечності ПТК доцільно використовувати системний аналіз багатофакторних ризиків для  $i$ -х компонентів НПС в узагальненій інформаційній формі з їх конкретизацією при розв'язанні задач для певних об'єктів і умов їх функціонування.

Кожний  $j$ -й показник складової системи  $x_{ij}$   $q_p$ -го фактора ризику визначається інформаційним вектором  $I_{ipj}$  [7]:

$$I_{ij} = \{x_{ij} \mid x_{ij} = \langle x_{jq} \mid q = 1, n_{ij} \rangle; x_{ijk} \in Z_{ijk}; j \in N_p\}. \quad (7)$$

Екологічний фактор ризику  $q_p$  загалом характеризується показником антропогенного навантаження  $H_p$  і природними факторами.

Антропогенне навантаження як причина порушення стійкості екологічних систем установлюється відповідно до значень  $j$ -х показників  $h_{pj}$ :

$$H_p = \{h_{pj} \mid p \in N; j = 1, n_p\}, \quad N \in [1, n], \quad (8)$$

де  $H_p$  — сучасний рівень антропогенного навантаження на  $i$ -й компонент НПС, що викликає  $p$ -й вид ризику появи негативних наслідків для екологічної системи;  $N$  — кількість факторів ризику  $p$ -го виду впливу антропогенного навантаження на  $i$ -й компонент об'єкта природного середовища.

Екологічні ризики характеризуються стохастичністю, невизначеністю процесів у природно-техногенних об'єктах, невизначеністю уповільнених реакцій, самоорганізацією термодинамічних ефектів на підставі моделі «первинний стан системи — умови середовища всередині системи — невизначене ініціювання процесів — розвиток процесів — нові умови у системі — кінцевий стан системи» [8].

Зменшення ризиків на техногенних об'єктах досягається за рахунок конкурентоспроможності екологічних виробництв на основі:

- 1) відповідності вимогам концепції сталого розвитку;
- 2) заощадження за рахунок зменшення відшкодування збитків при запровадженні засад екологічного менеджменту на підприємстві;
- 3) прибутку в економічному сенсі за рахунок збільшення продукції, атестованої і сертифікованої за рівнем відповідності екологічній якості.

Комплексне використання MIPS-аналізу та визначення ризик-параметрів впливу на об'єкти НПС з установленням небезпечних факторів дестабілізації на кожній стадії дослідження ПТК здійснюються за алгоритмом, показаним на рис. 3.

Методичне забезпечення для запропонованого алгоритму спрямоване на екологічні критерії оцінювання системи «об'єкт — навколишнє середовище», управлінське рішення щодо стабілізації системи дослідження визначається з урахуванням економічних і соціальних критеріїв.

Економічні критерії за змістом відповідають за втрату екологічної цінності господарської діяльності; екологічні збитки оцінюються за формулою

$$Y = \sum_{k=1}^n \gamma M_k, \quad (9)$$

де  $\gamma$  — економічна оцінка одиниці умовного навантаження впливу  $k$ -го фактора на НПС у вартісному вираженні. Значення цього коефіцієнта визначається якісними і кількісними характеристиками техногенного об'єкта та ступенем його впливу на стан природних систем [9].

Економічний критерій характеризує, з одного боку, економічну вигоду від функціонування на розглянутій території об'єктів природокористування, а з другого боку, економічні втрати, яких зазнає навколишнє середовище від забруднення. Такий збиток визначається потребами суспільства в їх зістав-

ленні з витратами, необхідними для запобігання негативному впливу діяльності людини на навколишнє середовище і її відновлення. Значення економічного критерію розраховують за таким відношенням [10]:

$$K_{\text{ек}} = \frac{Y_a + Y_b + Y_r}{Z_{\text{зап}} + \text{Пл} + E_{\text{еф}}}, \quad (10)$$

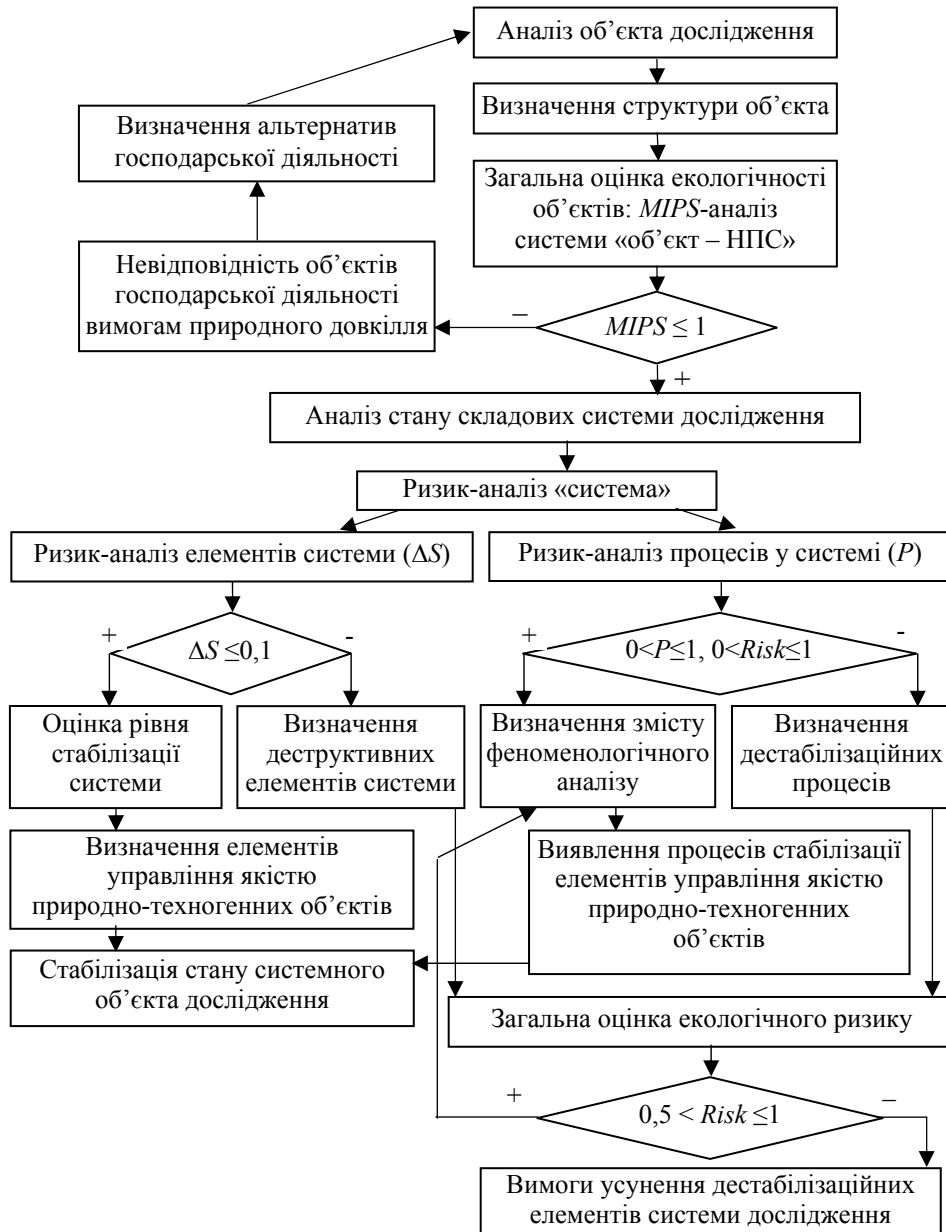


Рис. 3. Алгоритм комплексної оцінки екологічності системних природно-техногенних об'єктів

де  $Y_i$  ( $Y_a, Y_b, Y_r$ ) — економічний збиток від забруднення відповідного компонента НПС;  $Z_{\text{зап}}$  — витрати, спрямовані на попередження забруднення

навколишнього середовища; Пл — плата природокористувача за забруднення НПС;  $E_{\text{еф}}$  — економічна ефективність (вигода) від функціонування об'єктів природокористування, що включає податки, платежі та інші відрахування в міський бюджет.

Соціальний критерій оцінювання стану об'єкта дослідження ідентифікує рівень стану здоров'я населення, що перебуває під впливом об'єктів НПС:

$$K_{\text{соц}} = P(A_{\text{комф}} / B_{\text{зах}}) P(B_{\text{зах}}), \quad (11)$$

де  $B_{\text{зах}}$  — показник  $i$ -ї захворюваності населення;  $A_{\text{комф}} / B_{\text{зах}}$  — показник умов (забруднення навколишнього середовища), що визначає  $i$ -й вид захворювання.

Для практичної реалізації методики комплексної еколого-економічної оцінки техногенно-навантаженої території необхідно:

- 1) звести критерії комплексної оцінки екологічності до показників, що мають однакову розмірність та інтервал можливих значень;
- 2) порівняти кожен з показників з його граничнодопустимим значенням;
- 3) об'єднати всі показники в єдину комплексну оцінку.

Для зменшення економічного критерію слід збільшувати витрати, спрямовані на попередження негативного забруднення  $Z_{\text{зап}}$ , екологічні та соціальні вигоди  $E_{\text{еф}}$ , до яких віднесені податки, платежі, відрахування та інші виплати в місцевий бюджет, інвестиційні зобов'язання, спрямовані на розвиток соціальної сфери та інфраструктури регіону і т. ін.

Збільшення соціального показника досягається шляхом зменшення соціального критерію:

$$П_{\text{соц}} = 1 - e^{(1/K_{\text{соц}})}. \quad (12)$$

Для збільшення соціального критерію необхідно зменшувати ймовірність несприятливих факторів, які впливають на захворюваність  $A_{\text{комф}} / B_{\text{зах}}$ , і ймовірність захворюваності населення  $B_{\text{зах}}$ , що досягається усуненням причин виникнення захворювань, запровадженням заходів профілактики.

Таким чином, математичне забезпечення комплексної оцінки безпечності техногенно-навантажених територій містить результати послідовного аналізу показників екологічності стану об'єктів на різних рівнях дослідження (рис. 4).

Застосування поданої системи оцінювання на техногенному об'єкті дозволить зрівноважити співвідношення екологічного, економічного та соціального критеріїв між собою і досягти певного рівня урегулювання екологічності виробництва і таким чином зменшити вплив на природні складові навколишнього середовища.

Методика комплексної оцінки безпечності ПТК апробована на прикладі визначення екологічної доцільності роботи виробництва з утилізації шламів, що передбачає повторне використання фільтрату (очищеної води) у технологічному процесі. Розрахунки, виконані за даними екологічного моніторин-



гу «перероблення шламів – стан НПС» згідно з алгоритмом оцінювання рівня екологічності дослідженої системи «вилучення шламів – оброблення шламів – вплив на НПС» (рис. 3).

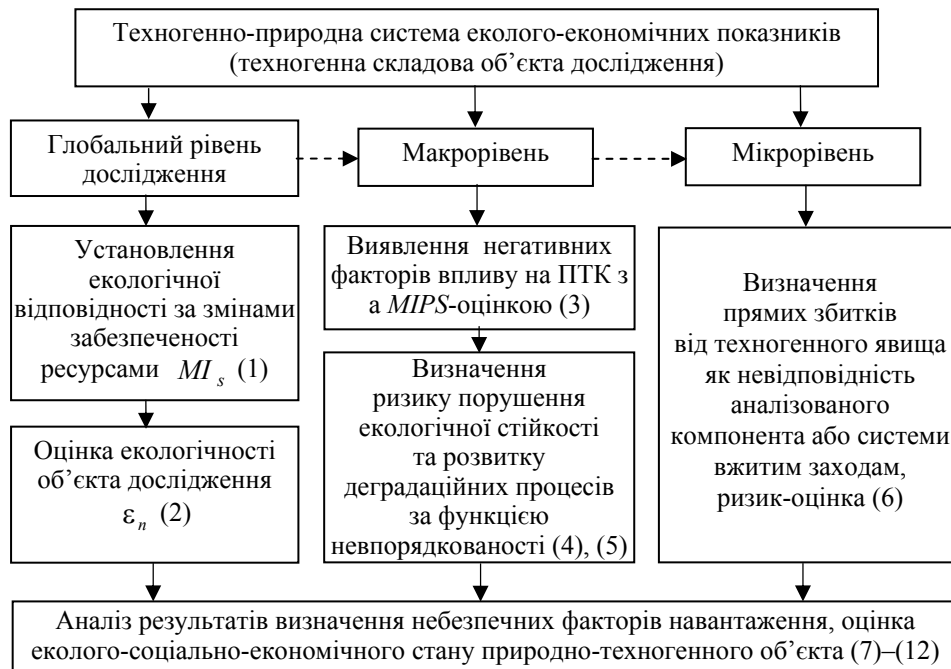


Рис. 4. Послідовність визначення показників комплексної оцінки стану природно-техногенних об'єктів

Надана методика є альтернативою визначення безпечності виробничого процесу за процедурою екологічної оцінки проекту і експертизи. Послідовність системного аналізу (рис. 3, 4) дозволяє виявити фактори екологічної дестабілізації і встановити умови безпечної роботи потенційного джерела навантаження.

Вилучення шламів розглядається як позитивний екологічний фактор, який надалі порівнюється з негативним впливом виробничого процесу їх оброблення за MIPS-числами (3) і ризик-аналізом. Результати оцінювання відповідності технології вилучення шламів вимогам безпеки НПС отримані за MIPS-аналізом шламів, шламових вод, застосованих реагентів за їх складом  $C_b$  з урахуванням такого: дослідний зразок – 32 г, отриманий розчин – 200 мл, NaOH – 2,5 мл; флокулянт – 3 мл;  $Na_2SO_4$  – 1 мл ( $x_j$ ) і 90% – вихід готової продукції – очищеної води для розбавлення шламів для флокуляції ( $S_j$ ) (табл. 1, 2).

Негативний фактор за результатами дослідження системи розглядається як кінцевий вплив на НПС процесу оброблення шламів і оцінюється за величиною ризику, отриманого при порівнянні вимірюваних показників з ГДК. Нормативна міра ГДК допускає обмежене коливання у дестабілізації системи, тобто мова йде про прийнятну «ціну» навантаження на природне середовище і людину (формули (5) і (6)) (табл. 3).

**Таблиця 1.** MIPS-оцінка екологічності вилучених шламів

№ з/п	Складові шламу	MI-числа [11]	$C_i$	$MI_{\text{заг}}$	$MIPS_1$
1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,43	17	58,31	10,37
2	SiO <sub>2</sub>	1,4	40	56	9,96
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,7	3,6	24,12	4,29
4	CaO	5,6	0,7	3,92	0,7
5	MgO	1,6	1,2	1,92	0,34
6	Na <sub>2</sub> O	2,3	0,41	0,943	0,17
7	K <sub>2</sub> O	5,69	0,6	3,414	0,6
8	TiO <sub>2</sub>	40,7	0,84	34,188	6,08
Сумарне MIPS <sub>1</sub> -число*					4,06

\*MIPS<sub>1</sub> > 1 — за умови вилучення з НПС визначається як позитивний фактор.

**Таблиця 2.** Оцінка екологічності процесів оброблення шламів\*

№ з/п	Речовина	MI- числа	$C_i$	$MI_{\text{заг}}$	$MIPS_2$
<b>Шламівий розчин</b>					
1	Хлориди	1,84	30	55,2	0,28
2	Сульфати	2,1	40	84	0,42
3	Феноли	18,7	0,005	0,0935	0,00047
4	Марганець	40,2	0,1	4,02	0,02
5	Алюміній	7,43	0,35	2,6005	0,013
6	Мідь	85,5	0,01	0,855	0,004
7	Кадмій	—	0,0002	—	—
8	Свинець	15,6	0,004	0,0624	0,0003
<b>Реагенти</b>					
9	NaOH+флокулянт+ Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	23,78	6,5	55,2	0,119
Сумарне MIPS <sub>2</sub> -число*					0,85

\*Процеси флокуляції шламових залишків за певною технологією ТОВ «Науково-технічний центр «ЕКОМАШ»; MIPS<sub>1</sub> > MIPS<sub>2</sub>, отже, встановлено низький ризик-фактор виробництва — ситуація екологічної безпеки [11].

**Таблиця 3.** Оцінка впливу на об'єкти НПС (ущільнений залишок, осад)

№ з/п	Речовина згущеного залишку (10% від початкового об'єму)	MI-числа	$C_i$	$MIPS_3$	ГДК	$\frac{C_i}{ГДК_i}$	Risk
<b>Шламівий розчин</b>							
1	Хлориди	1,84	3	0,028	300	0,01	0,046
2	Сульфати	2,1	4	0,042	500	0,008	0,039
3	Феноли	18,7	0,0005	0,000047	0,01	0,05	0,15
4	Марганець	40,2	0,01	0,002	0,2	0,05	0,15
5	Алюміній	7,43	0,035	0,0013	0,5	0,07	0,19
6	Мідь	85,5	0,001	0,00043	0,02	0,05	0,15
7	Кадмій	—	0,00002	—	0,005	0,004	0,02
8	Свинець	15,6	0,0004	0,00003	0,06	0,007	0,033

Продовження табл. 3

Реагенти							
9	NaOH + флокулянт + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	23,78	0,6	0,01	7,5	0,08	0,2
Сумарне MIPS <sub>3</sub> -число*				0,074<<1			0,29<1

\*Узагальнений вплив на об'єкти НПС за складом осаду від флокуляції [11].

За отриманими розрахунками складається оцінка екологічної доцільності даного виду діяльності із зіставленням даних комплексного аналізу для об'єктивного обґрунтування:

–  $MIPS_{\text{шл}} < MIPS_{\text{вир}}$ , висока за значенням ризик-оцінка — ситуація екологічної небезпеки в разі запровадження виробництва;

–  $MIPS_{\text{шл}} > MIPS_{\text{вир}}$  — низький ризик-фактор складових виробництва — ситуація екологічної безпеки.

Таким чином, комплексування методик не тільки визначає екологічність за різними аспектами, але дає змогу додатково підтвердити отримані дані, установити небезпечність факторів впливу на НПС. Методичне забезпечення комплексної оцінки екологічності на основі MIPS- і ризик-аналізу дозволяє порівняти позитивний ефект від кінцевої мети з перероблення шламів і екологічні ризики, які при цьому виникають (див. табл. 1, 3).

## ВИСНОВКИ

У роботі обґрунтовано теоретико-методичні основи комплексного аналізу стану техногенно-навантажених територій і природно-техногенних об'єктів за змістовністю сталого розвитку на основі системи оцінювання екологічної відповідності за MIPS- і ризик-аналізом з ідентифікацією негативних порушень у системі «техногенний об'єкт – НПС – людина» і отримано таке.

1. Екологічність природно-техногенного об'єкта є відповідністю гомеостазу для його складових систем до вимог екологічної безпеки за такими показниками: економічним — максимізація ефективності виробництва і мінімізація потоку із системи (викидів, скидів, утворення відходів); екологічним — підтримка на оптимальному природному рівні біологічної продуктивності екосистем; соціальним — максимізація до економічно досягнутої величини суспільного здоров'я людини (рис. 1, 2, рівняння (1)–(4)).

2. Методичні пропозиції наданої послідовності аналізу екологічності ПТК передбачають урахування оцінки процесів у об'єктах дослідження при управлінні якістю НПС (рис. 4).

3. Надане математичне забезпечення оцінки екологічності стану ПТК (рівняння складових оцінки (4)–(12)) дозволяє встановити відповідність регулювання якості досліджених об'єктів за соціально-еколого-економічними аспектами вимогам управління безпекою з урахуванням загальнопоширеної концепції прийнятного ризику (6).

## ЛІТЕРАТУРА

1. Згуровский М.З. Глобальное моделирование процессов устойчивого развития в контексте качества и безопасности жизни людей / М.З. Згуровский, А.Д. Гвишиани. — К.: Політехніка. 2008. — 331 с.

2. Ємельянова Д.І. Методично-інформаційне забезпечення комплексної оцінки природно-техногенних комплексів / Д.І. Ємельянова // «Эколого-правовые и экономические аспекты техногенной безопасности регионов»: матеріали VIII міжнар. наук.-практ. конф. — Х.: ХНАДУ, 2013. — С. 112–117.
3. Козуля Т.В. Комплексна екологічна оцінка природно-техногенних комплексів на основі MIPS- і ризик-аналізу / Т.В. Козуля, Д. І. Ємельянова, М.М. Козуля // Восточноевроп. журн. передовых технологий. — Х., 2014. — № 3 (69). — С. 8–14.
4. Козуля Т.В. Використання МІ-чисел при формуванні комплексної оцінки екологічності виробництва і ПТК / Т.В. Козуля, Д.І. Ємельянова // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 15 Міжнар. наук.-техн. конф. SAIT. — К.: ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2013. — С. 115–116.
5. Звягінцева Г.В. Принципи оцінки екологічних ризиків при забрудненні навколишнього природного середовища / Г.В. Звягінцева // Зб. тез доп. учасників III Всеукр. наук.-практ. конф. «Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України». — Запоріжжя: Фінвей, 2007. — С. 156–159.
6. *Integrated Risk Information System*. — Режим доступу: <https://www2.epa.gov/iris>.
7. Коваленко Г.Д. Екологічний ризик погіршення стану навколишнього природного середовища України при збереженні існуючих тенденцій антропогенного навантаження / Г.Д. Коваленко, Г.В. Півень, О.В. Рибалова // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення : зб. наук. праць Міжнар. наук.-практ. конф. — Х., 2009. — Т. 1. — С. 52–56.
8. Лисиченко Г.В. Методологія оцінювання екологічних ризиків / Г.В. Лисиченко, Г.А. Хміль, С.В. Барбашев. — Одеса: Астропринт, 2011. — 368 с.
9. Козуля Т.В. Теоретико-практичні основи методології комплексної оцінки екологічності територіальних і об'єктових систем / Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова, Д.І. Ємельянова, М.М. Козуля // Проблеми інформаційних технологій. 2012. — № 01 (011). — С. 37–45.
10. Беспалов В.И. Методические основы социо-эколого-экономической оценки состояния окружающей среды территорий промышленных зон крупных городов / В.И. Беспалов, Е.В. Котлярова // «Строительство 2011»: материалы Междунар. науч.-практ. конф. — Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2011. — С. 57–64.
11. Ritthoff M. Calculating MIPS – Resource Productivity of Products and Services / M. Ritthoff, H. Rohn, C. Liedtke. — Wuppertal, 2003. — Режим доступу: [www.mips.online.info](http://www.mips.online.info).

Надійшла 02.07.2015